

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3905684 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 39 05 684.8  
㉑ Anmeldetag: 24. 2. 89  
㉒ Offenlegungstag: 30. 8. 90

㉓ Int. Cl. 5:  
**B23 K 26/00**  
B 23 K 15/00  
// H05B 3/00,  
B23K 35/00

**DE 3905684 A1**

㉔ Anmelder:  
Draugelates, Ulrich, Prof. Dr.-Ing., 3380 Goslar, DE

㉕ Vertreter:  
Gramm, W., Prof. Dipl.-Ing.; Lins, E., Dipl.-Phys.,  
Pat.-Anwälte, 3300 Braunschweig

㉖ Erfinder:  
Draugelates, Ulrich, Prof., Dr.-Ing., 3380 Goslar, DE;  
Bouaifi, Belkacem, Dr.-Ing., 3421 Hörden, DE

㉗ **Auftragschweißverfahren**

Die Erfindung betrifft ein Auftragschweißverfahren, bei dem das Anschmelzen des Grundwerkstoffes durch einen geführten Energiestrahл erfolgt, während der Beschichtungswerkstoff in Form eines Drahtes oder zweier Drähte (Heißdraht) im Nachlauf des Energiestrahls zugeführt und im direkten Stromdurchgang mit Hilfe des Heißdrahtprinzips unmittelbar unter Schmelztemperatur aufgeheizt wird. Zur Verbesserung wird vorgeschlagen, daß als Energiestrahл ein Laser- oder Elektronenstrahl verwendet wird, und daß zu einer stabilen Prozeßführung zumindest die geometrische Zuordnung von Heißdraht und Laser- oder Elektronenstrahl, der Heißdraht-Vorschub sowie die Heißdraht-Stromquelle nach Maßgabe eines vorgegebenen Prozeßablaufes prozeßrechnergesteuert zeitlich abgestimmt und koordiniert werden zur Herstellung von Schichten mit einer Lagendicke < 3 mm und einer Aufmischung < 10%.

**DE 3905684 A1**

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Auftragschweißverfahren, bei dem das Anschmelzen des Grundwerkstoffes durch einen geführten Energiestrahл erfolgt, während der Beschichtungswerkstoff in Form eines Drahtes oder zweier Drähte (Heißdraht) im Nachlauf des Energiestrahls zugeführt und im direkten Stromdurchgang mit Hilfe des Heißdrahtprinzips unmittelbar unter Schmelztemperatur aufgeheizt wird.

Bekannt ist ein Auftragschweißverfahren als Plasma-Heißdraht-Auftragschweißen, bei dem das Anschmelzen des Grundwerkstoffes durch einen oszillierenden, mit nicht abschmelzender Elektrode arbeitenden Plasmabrenner mit übertragenem Lichtbogen erfolgt. Der Grundgedanke dieses PHA-Verfahrens ist die Trennung des Anschmelzens des Grundwerkstoffes und des Schmelzens des Zusatzwerkstoffes zum Auftragschweißen. Bedingt durch die Trennung der zum Auftragschweißen erforderlichen Funktionen ist im Verhältnis zu anderen Verfahren ein geringerer Energiebetrag zum Anschmelzen des Grundwerkstoffes erforderlich. Dadurch kann der Plasmabrenner mit verhältnismäßig geringer Energie betrieben werden, was sich günstig auf die Ausbildung des Gefüges von Grundwerkstoff und Plattierung sowie auf die Breite der Wärmeeinflußzone auswirkt. Einbrandtiefe und Auftragdicke lassen sich unabhängig voneinander über den Plasmastrom und die Heißdrahtleistung und -zufuhr variieren.

Bei herkömmlichen Verfahren mit großen Einbränden, großen Aufmischungsgraden und Abbränden der Legierungselemente kann ein Ausgleich der Legierungszusammensetzung der Auftragschweißung nur durch ein Überlegieren des Beschichtungswerkstoffes erreicht werden. Andernfalls ist es notwendig, durch mehrere Lagen die gewünschten Eigenschaften an der Oberfläche einzustellen. Da beim PHA-Verfahren nur ein geringer Abbrand auftritt und die Aufmischung auf sehr kleine Werte eingestellt werden kann, werden die gewünschten Eigenschaften der Auftragschweißung häufig bereits in der ersten oder zweiten Lage erreicht.

Die mit dem eingangs erläuterten Auftragschweißverfahren hergestellten Verbundsysteme aus einem mechanisch festen metallischen Grundwerkstoff und einer metallischen Schutzschicht mit gegenüber dem Grundwerkstoff erhöhter Beständigkeit finden insbesondere bei korrosions-, oxidations- und verschleißbeanspruchten Bauteilen Anwendung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Hochleistungs-Schweißverfahren zu schaffen, mit dem Verbundsysteme aus einem mechanisch festen metallischen Grundwerkstoff und einer metallischen Schutzschicht mit gegenüber dem Grundwerkstoff erhöhter Beständigkeit gegen Korrosions-, Oxidations- und Verschleißbeanspruchungen hergestellt werden können.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß als Energiestrahл ein Laser- oder Elektronenstrahl verwendet wird, und daß zu einer stabilen Prozeßführung zumindest die geometrische Zuordnung von Heißdraht und Laser- oder Elektronenstrahl, der Heißdraht-Vorschub sowie die Heißdraht-Stromquelle nach Maßgabe eines vorgegebenen Prozeßablaufes prozeßrechnergesteuert zeitlich abgestimmt und koordiniert werden zur Herstellung von Schichten mit einer Lagenstärke < 3 mm und einer Aufmischung < 10%.

Zur Erzielung einer stabilen Prozeßführung werden die verfahrenstechnischen Parameter mit Hilfe eines Prozeßrechners und einer entsprechenden Software-

Entwicklung optimal aufeinander abgestimmt. Bedingt durch den Einsatz des Heißdraht-Zusatzes ist eine Steigerung der Abschmelzleistung und eine Verbesserung der Qualität der Auftragschweißungen erzielbar, ohne die Wärmeeinbringung in den Grundwerkstoff zu erhöhen. Hierbei lassen sich Einbrandtiefe und Auftragsschichtdicke getrennt voneinander über den Laser- bzw. Elektronenstrahl und die Heißdraht-Leistung und -zufuhr variieren.

Beim Laserstrahl-Schweißen hängt die Energieumsetzung davon ab, welcher Anteil der auf den Grundwerkstoff auftreffenden Strahlenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt wird bzw. infolge von Reflexion für den Erwärmungsvorgang unwirksam bleibt. Der Laserstrahl-Wirkungsgrad hängt in erster Linie vom Reflexionsvermögen des zu schweißenden Grundwerkstoffes ab, ist meist sehr schlecht und liegt in der Regel bei etwa 10%. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit des Laserstrahl-Schweißverfahrens und damit seiner Wirtschaftlichkeit ist — unter Gewährleistung einer hohen Schichtqualität — mit der Erhöhung der Abschmelzleistung durch die Einführung der Heißdraht-Technik verbunden. Es hat sich gezeigt, daß durch die Kombination des Laserstrahls mit der Heißdraht-Technik eine Steigerung der Abschmelzleistung um ca. 90% möglich ist, wobei das Verbundsystem allen Anforderungen an die mechanisch-technologischen Eigenschaften und die Beständigkeit gegen Korrosion, Oxidation oder Verschleiß genügt.

Erfindungsgemäß ist es vorteilhaft wenn zusätzlich die Laserstrahl-Fokussierung, eine Pendelbewegung des Laser- oder Elektronenstrahls und/oder des Werkstückes, die Werkstückführung, eine Gasversorgung zum Schutz des Schmelzbades, eine Heißdraht-Wasserkühlung und/oder der Heißdraht-Vorschub prozeßrechnergesteuert werden.

Besonders günstige Eigenschaften der Auftragschweißungen in Bezug auf die Schichtreinheit und Fehlerfreiheit werden dann erzielt, wenn neben der optimalen Fokussierung des Laserstrahls die geometrische Anordnung der Heißdrähte mit einem Anstellwinkel von 20 bis 40°, einem Abstand zwischen Laserstrahl und Drahtkreuzungspunkt von 0 bis 4 mm, einem Winkel zwischen den Heißdrähten von 30 bis 60° und einer freien Heißdrahtlänge von insgesamt 200 mm vorge-nommen wird.

Zur Sicherstellung eines stabilen Schweißvorgangs soll eine Beeinflussung des Laserstrahls durch die Entstehung eines Lichtbogens zwischen den Heißdrähten vermieden werden. Daher ist es erfindungsgemäß zweckmäßig, wenn im Heißdraht-Stromkreis mit einer Arbeitsspannung von 10 bis 25 V gearbeitet wird.

Die genaue Justierung des Drahtkreuzungspunktes relativ zum Laser- bzw. Elektronenstrahl wird durch eine entsprechende Mechanik in der Heißdraht-Zufuhreinrichtung ermöglicht. Hierdurch kann eine definierte Verlagerung des Drahtkreuzungspunktes während des Schweißprozesses eine Optimierung der geometrischen Zuordnung von Heißdrähten und Laserstrahl vorge-nommen werden.

Für die Zuführung der beiden vorzugsweise auf zwei Dornspulen gewickelten Heißdrähte dienen erfindungsgemäß eine Drahtvorschubeinheit mit Regelung, zwei Richtwerke und eine Drahtzuführung.

Ein vorzugsweise verwendeter Vier-Rollenantrieb erlaubt eine stufenlose Drahtgeschwindigkeit bis zu 20 m/min.

Zur Gewährleistung einer genauen und reproduzier-

baren Zuführung der Drähte wird erfindungsgemäß zwischen Dornspule und Drahtvorschubgerät ein Zweiebenen-Richtwerk eingesetzt, das eine Richtgenauigkeit von 10 mm Durchbiegung auf 1 m Drahtlänge erlaubt.

Fig. 1 zeigt eine schematische Konzeptdarstellung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Das System erlaubt über die menügeführte Eingabe der Parameterdaten die Steuerung der Anlagenfunktionen im programmierten zeitlichen Verlauf des Auftragschweißprozesses sowie die Regelung und Überwachung einzelner Prozeßgrößen nach vorgegebenen Sollwerten.

Fig. 2 zeigt eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Mit 1 ist eine handelsübliche Lasereinrichtung bezeichnet, die einen Strahlanalysator sowie eine Strahlumlenkung umfaßt. Mit 2 ist der Laserstrahl bezeichnet. Ein Werkstück 3 liegt auf einem gesteuerten Kreuzsupport 4. Die beiden Heißdrähte sind mit 5 bezeichnet. Diese Heißdrähte weisen gegenüber der Ebene des Werkstückes 3 einen Anstellwinkel  $\alpha$  auf (siehe Fig. 2) und schließen zwischen sich einen Winkel  $\beta$  ein (siehe Fig. 1). Fig. 2 läßt erkennen, daß der Abstand zwischen Laserstrahl 2 und dem Drahtkreuzungspunkt 6 Null ist. Fig. 2 läßt ferner eine Justiereinrichtung 7 erkennen, wobei die eingezeichneten Pfeile deutlich machen, daß durch diese Justier Vorrichtung der Drahtkreuzungspunkt 6 gegenüber dem Laserstrahl 2 justiert werden kann.

#### Patentansprüche

1. Auftragschweißverfahren, bei dem das Anschmelzen des Grundwerkstoffes durch einen geführten Energiestrahle erfolgt, während der Beschichtungswerkstoff in Form eines Drahtes oder zweier Drähte (Heißdraht) im Nachlauf des Energiestrahls zugeführt und im direkten Stromdurchgang mit Hilfe des Heißdrahtprinzips unmittelbar unter Schmelztemperatur aufgeheizt wird, dadurch gekennzeichnet, daß als Energiestrahle ein Laser- oder Elektronenstrahl verwendet wird, und daß zu einer stabilen Prozeßführung zumindest die geometrische Zuordnung von Heißdraht und Laser- oder Elektronenstrahl, der Heißdraht-Vorschub sowie die Heißdraht-Stromquelle nach Maßgabe eines vorgegebenen Prozeßablaufes prozeßrechnergesteuert zeitlich abgestimmt und koordiniert werden zur Herstellung von Schichten mit einer Lagendicke  $< 3$  mm und einer Aufmischung  $< 10\%$ .
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich die Laserstrahl-Fokussierung prozeßrechnergesteuert ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine Pendelbewegung des Laser- oder Elektronenstrahles und/oder des Werkstückes prozeßrechnergesteuert ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich die Werkstückführung prozeßrechnergesteuert ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine Gasversorgung zum Schutz des Schmelzbades prozeßrechnergesteuert ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich

eine Heißdraht-Wasserkühlung prozeßrechnergesteuert ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich der Heißdraht-Vorschub prozeßrechnergesteuert ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Heißdraht unter einem Anstellwinkel ( $\alpha$ ) von 20 bis 40°, vorzugsweise 25°, bezogen auf die Ebene des Grundwerkstoffes, zugeführt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Zufuhr von zwei Heißdrähten ein Abstand zwischen Laserstrahl und Drahtkreuzungspunkt von 0 bis 4 mm, vorzugsweise 0 mm, gewählt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, gekennzeichnet durch eine definierte Verlagerung des Drahtkreuzungspunktes.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Zufuhr von zwei Heißdrähten ein zwischen diesen eingeschlossener Winkel ( $\beta$ ) von 30 bis 60°, vorzugsweise 45°, gewählt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch die Verwendung einer freien Heißdrahtlänge von insgesamt etwa 200 mm.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Heißdraht-Stromkreis mit einer Arbeitsspannung von 10 bis 25 V gearbeitet wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Heißdraht auf seinem Vorschubweg gerichtet wird.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Heißdraht Fülldrähte oder Massivdrähte verwendet werden.

16. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) Ein einer Drahtspule nachgeordnetes Zweiebenen-Richtwerk zur Erzielung einer hohen Richtgenauigkeit der Heißdrähte (5);
- b) eine dem Richtwerk nachgeschaltete Drahtvorschubeinrichtung mit Regelung;
- c) eine in der Heißdraht-Zuführeinrichtung vorgesehene Justiereinrichtung (7) zur Justierung des Drahtkreuzungspunktes (6) relativ zum Laser- bzw. Elektronenstrahl (2).

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



